

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE UNA PAPELERA, MEDIANTE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN QUÍMICA Y ELECTROCOAGULACIÓN

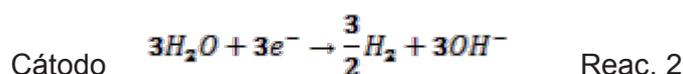
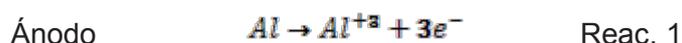
Biagioni T.^{1,2}, Seijas C. J.^{2,3}, Tocci A. M.^{1,2}, Bianchi G. L.^{1,2,4}

1. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de La Plata. 1 y 47 - (1900) La Plata, Argentina. E-mail: tatianabiagioni@outlook.com
2. Grupo Innovación Energética y Ambiental, Instituto Malvinas, Facultad de Ingeniería UNLP, Diagonal 80 N° 372, La Plata (1900), Bs. As., Argentina.
3. WET Argentina S.A. Av. Sucre 2477, Béccar (1643), Bs. As., Argentina.
4. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los cauces de agua son contaminados por desechos industriales, las cuales son propias de las necesidades del hombre en la actualidad. Estas aguas contaminadas atentan contra la salud del ser humano y de los seres vivos que viven de ella, ya que pueden transmitirse enfermedades por causa de la misma. Por ese motivo se hace imperioso realizar tratamientos a los efluentes para que se garantice la conservación de la biodiversidad y el manejo sustentable de los recursos naturales.

Dentro de las tecnologías se encuentran procesos biológicos, fisicoquímicos y electroquímicos. Particularmente los fisicoquímicos son de lo más empleado en el tratamiento de efluentes, en donde las etapas de coagulación y floculación son promovidas por la adición de agentes químicos a diferencia de las tecnologías electroquímicas, que se presentan como una alternativa potencial, basadas en la aplicación de energía eléctrica para la generación del ion coagulante in situ. En este proceso las partículas en suspensión, emulsionadas o disueltas se desestabilizan por el fenómeno electroquímico, el cual provoca una serie de reacciones cuya finalidad es lograr que las moléculas contaminantes se aglomeren y decanten permitiendo su remoción. Las reacciones químicas que ocurren en ánodo y cátodo se presentan a continuación.



Los iones Al^{+3} y OH^{-} inducen la formación del compuesto $\text{Al}_2(\text{OH})_3$, el cual posee una gran superficie específica que permite la rápida adsorción de compuestos orgánicos solubles y captación de partículas coloidales, que se aglomeran en forma de flocs. La formación del gas H_2 facilita el mezclado y la remoción de estos flocs.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo fue el tratamiento fisicoquímico y electroquímico a escala laboratorio de agua proveniente de una industria papelera. Los parámetros de análisis de la muestra fueron la conductividad, el pH, la demanda química de oxígeno (DQO), la turbidez y la concentración de los contaminantes boro, manganeso y aluminio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Al efluente en cuestión se lo caracterizó con el fin de identificar las concentraciones de los contaminantes presentes y las condiciones iniciales del mismo. En la Tabla 2 se presentan los valores medidos del efluente sin diluir.

Tabla 1. Concentraciones iniciales de los contaminantes

Muestra	Crudo
Condición	sin diluir
pH	7.28
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1826
Turbidez (FAU)	722
Al (ppm)	5,15
Mn (ppm)	9
Boro (ppm)	5
DQO(ppm)	731,1

PARTE EXPERIMENTAL

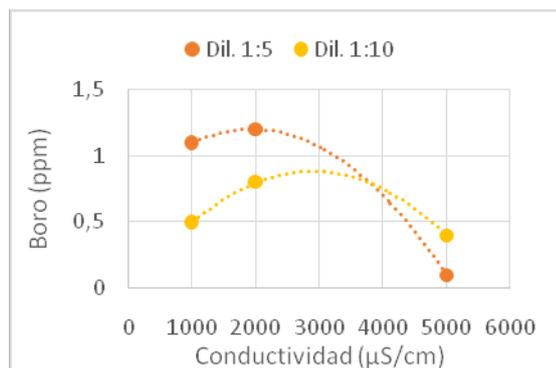
Ensayos electroquímicos

Para los ensayos electroquímicos se trabajó con diluciones en 1:2, 1:5 y 1:10 de la muestra en volúmenes de 500 ml. La electrocoagulación se realizó empleando electrodos de aluminio de alta pureza, de dimensiones 140 x 60 mm, siendo el área sumergida total de 14400 mm² con una separación de 1,5 cm entre ellos. Se empleó un agitador magnético para el mezclado de la muestra durante el proceso. El aporte de corriente constante a dichos electrodos fue mediante una fuente de alimentación Keithley 2260B-30-72. El montaje del sistema electroquímico se puede apreciar en la Figura 1.

Los parámetros a variar durante los ensayos fueron la corriente, tiempo de tratamiento y conductividad. Esta última se modificó, antes de comenzar con el tratamiento, empleando NaCl 1M. Al finalizar con la electrocoagulación, en todos los casos, se realizó un ajuste de pH con HCl 6 N a valores cercanos al 6,5 el cuál se conoce como valor óptimo para la formación de la especie coagulante empleando aluminio.



Figura 1. Equipamiento de ensayos electroquímicos



Ensayos físico-químicos

Los tratamientos físicoquímicos de coagulación-floculación se realizaron con el coagulante W901 y el floculante RA943, marcas comerciales de la empresa WET Argentina S.A. Fue empleado un equipo de jarras marca Parsec modelo Aries VII, en donde se colocaron en agitación las muestras y a cada una se les dosificó, diferentes concentraciones de coagulante y posteriormente una misma concentración de floculante. La experiencia fue repetida realizando un ajuste del pH a un valor cercano a 8 previo a la adición del

floculante.

Determinación de parámetros

Luego de los tratamientos aplicados, tanto electroquímico como físico-químico, las muestras se dejaron reposar un tiempo suficiente para la estabilización de las fases (60 minutos) y posteriormente se extrajeron muestras del sobrenadante libre de floc a las cuales se les realizaron las determinaciones de los parámetros correspondientes.

Se utilizó el espectrofotómetro de laboratorio HACH® DR3900 y el colorímetro HACH® DR/890 para las técnicas colorimétricas. El primero de estos equipos cuenta con programación preestablecida por la marca de acuerdo al parámetro medido, para los cuales se emplean los Kits experimentales correspondientes y la preparación de la muestra se realiza de acuerdo al protocolo del mismo. Para el caso del aluminio, DQO y fósforo, las curvas de calibración fueron cargadas en el espectrofotómetro.

Otros parámetros fueron medidos empleando Test Kit de HANNA Instruments, como material de las técnicas volumétricas, estos aportan los reactivos e indicadores a utilizar de acuerdo a la medición deseada.

El pH fue medido haciendo uso del pHmetro Thermo Scientific Orion DUAL STAR, y para la conductividad se empleó el conductímetro LaMotte Conductivity Meter - CON 6 Plus Handheld.

Para la medición de aluminio fue utilizado el método Ericromo Cianina R 3522B-Al, en el caso del boro se empleó el Kit HACH *Boron - Carmine Method* para el uso del espectrofotómetro, y para el manganeso el Kit HACH *Manganese- USEAP Periodate Oxidation Method*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos electroquímicos

En lo que respecta al tratamiento electroquímico de las diluciones del crudo, se realizaron ensayos a corriente constante con variaciones de la conductividad y tiempo de electrocoagulación, así también a variaciones en la corriente con las demás variables fijas.

A partir de las variantes en cada tratamiento se agruparon los resultados arrojados por la determinación del contaminante más crítico a remover, en condiciones tales de poder compararlos.

Del Gráfico 1 se observa que las diluciones 1:5 presentan mayor reducción de Boro, en función de su valor de partida respecto al resto, con un valor óptimo para tiempos de 5 min, para una conductividad de 1000 µS/cm a corriente constante de 1 A.

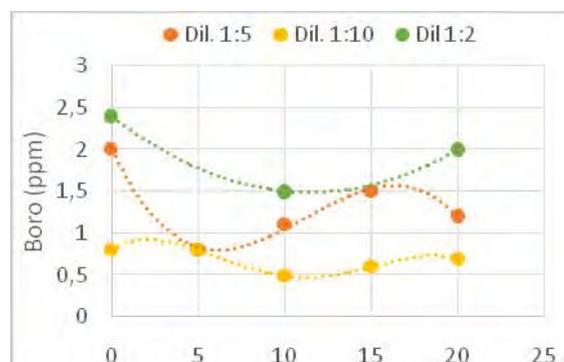


Gráfico 1. Concentración de Boro en función del tiempo de electrocoagulación para cada dilución. Corriente de 1 A y 1000 µS/cm

Por otro lado, el Gráfico 2 demuestra que para diluciones 1:5 con 10 min de electrocoagulación y trabajando a corrientes bajas (<2 A) se presenta una mayor reducción de Boro, siendo preferible las condiciones de alta conductividad (5000 μ S/cm).

Comparando las diluciones 1:5 y 1:10, como se ilustra en el Grafico 3, a diferentes conductividades se deduce que para ambos casos el comportamiento es semejante y a 5000 μ S/cm se presenta la mayor reducción de Boro, en condiciones de corriente constante de 1 A y tiempos de 10 min de electrocoagulación.

Las concentraciones de los contaminantes como el aluminio fueron reducidas en casi un 70% alcanzando valores aptos para la descarga a cuerpo de agua superficial¹, mientras que el manganeso se redujo en su totalidad y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) logró valores muy por debajo de los 250 ppm límite².

Ensayos físico-químicos

Para estos ensayos se trabajó únicamente con la dilución 1:5, con el fin de realizar una comparación con los ensayos de mejor resultado en el tratamiento electroquímico.

Puede apreciarse que el comportamiento en la remoción de los contaminantes boro y

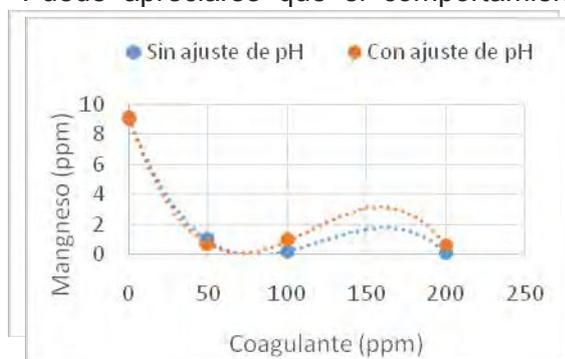


Gráfico 4 Concentración de manganeso final en función de la concentración de coagulante empleado

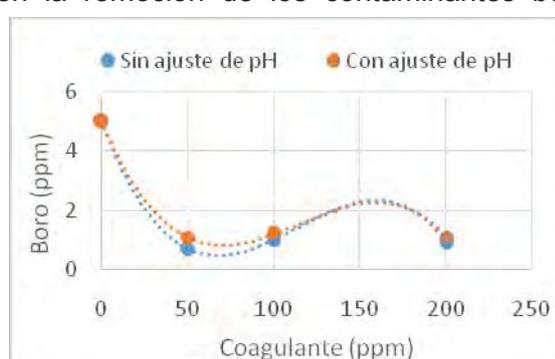


Gráfico 5 Concentración de boro final en función de la concentración de coagulante empleado

manganeso no presenta gran diferencia ante el ajuste de pH, y la mayor remoción para ambos se logra en un rango de 50-100 ppm de coagulante. Como se puede apreciar en las Tablas 2 y 3, los valores coloreados indican que el resultado está fuera de los límites.

Los resultados de la DQO post tratamiento físico-químico permanecen por debajo de los 150 ppm, para ambos ensayos.

Tabla 2. Dilución 1:5 con tratamiento físico-químico sin ajuste de pH

Características	1	2	3
Al (ppm)	0,036	0,021	0,009
Boro (ppm)	0,9	1,0	0,7
DQO (ppm)	75,31	70,01	81,77
Manganeso (ppm)	0,1	0,2	0,9

¹ Resolución 336/2003 -Anexo II. Parámetros de calidad de las descargas límites admisibles para la Provincia de Buenos Aires.

Tabla 3 Dilución 1:5 con tratamiento físico-químico con ajuste de pH

Características	1	2	3
pH final	6,96	7,053	7,138
Al (ppm)	0,008	0,029	0,038
Boro (ppm)	1,1	1,2	1,1
DQO (ppm)	126,57	64,94	71,42
Manganeso (ppm)	0,6	0,9	0,7

CONCLUSIONES

Debe tenerse presente que el efluente debe ser tratado para cumplir con los parámetros de calidad de las descargas a un cuerpo de agua superficial, establecidos por la normativa vigente en la provincia de Buenos Aires (Tabla 4).

Tabla 4. Límites admisibles para la descarga a un cuerpo de agua superficial. Extracción de la Res. 336/2003 – Anexo II.

Parámetro	Valor límite permitido
Aluminio (ppm)	2
Manganeso (ppm)	0,5
Boro (ppm)	2
DQO (ppm)	250

La totalidad de los ensayos electroquímicos arrojaron resultados positivos en cuanto a la reducción de los parámetros de calidad que involucran a la turbidez, conductividad, pH, fenoles, alcalinidad total, cloruros, dureza, fósforo, manganeso y DQO, mientras que para el boro su remoción presentó grandes variaciones en función las variantes modificadas. El mayor porcentaje de reducción de este contaminante puede concluirse que se dará para conductividades de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aplicando una corriente de 1 A para un tratamiento de 5 minutos de diluciones 1:5 del efluente, logrando un gran margen por debajo del límite exigido.

La gran diferencia que se presenta ante los ensayos físico-químicos es la concentración de manganeso que se encuentra luego del tratamiento, si bien como se aprecia en la Tabla 2 y 3 estos cumplen con el límite establecido su valor se encuentra no muy lejos del mismo.

En conclusión, queda reflejado que el empleo de técnicas electroquímicas arroja resultados satisfactorios para el tratamiento de efluentes de la industria papelera y el gran potencial que éstas presentan en comparación a los tratamientos tradicionales actualmente empleados.

BIBLIOGRAFÍA

- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition, E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, L.S. Clesceri, APA, AWWA, Edition: 2012
- Danis Kartikaningsih, Yu-Jen Shih, Yao-Hui Huang. 2016. Boron removal from boric acid wastewater by electrocoagulation using aluminum as sacrificial anode.
- Mehdi Dolati, Ali Ahmad Aghapour, Hassan Khorsandi, Sima Karimzade. 2017. Boron removal from aqueous solutions by electrocoagulation at low concentrations
- Mohd Khairul Nizam Mahmada*, Mohd Remy Rozainy M.A.Zb,c, Ismail Abustanb and Norlia Baharun. 2016. Electrocoagulation Process by Using Aluminium and Stainless Steel Electrodes to Treat Total Chromium, Colour and Turbidity.
- M. Elazzouzi, Kh. Haboubi, M.S. Elyoubi. 2017. Electrocoagulation flocculation as a low-cost process for pollutants removal from urban wastewater